Georg Schikorra.

Fusarium-Krankheiten der Leguminosen.

Fusarium-Krankheiten der Leguminosen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

Von

Georg Schikorra
aus Berlin.

ACAD
LUGD.BAT
BIBL.

Tag der Promotion: 28. Juli 1906.

Referenten:

Professor Dr. Schwendener.

Professor Dr. Kny.

Druck von Hermann Beyer & Söhne (Beyer & Mann) in Langensalza.

Meinen Eltern

in dankbarer Liebe.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548904_0041

Die vorliegende Arbeit hat ihren Ausgangspunkt in Beobachtungen, die ich im Sommer des vergangenen Jahres gemeinschaftlich mit Herrn Regierungsrat Dr. Appel auf dem Versuchsfelde der Kaiserlichen Biologischen Anstalt in Dahlem gemacht habe.

Es zeigte sich an den Leguminosen eine auffallende Erkrankung, die besonders für die Erbsen einen epidemischen Charakter annahm, und auf Anregung des genannten Herrn unternahm ich es, mich mit dieser Erscheinung näher zu beschäftigen.

Es sei mir hier gestattet, Herrn Regierungsrat Dr. Appel für seine lebhafte Teilnahme an meinen Untersuchungen meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen. Mein Dank gebührt besonders auch dem Direktor der Kaiserlichen Biologischen Anstalt, Herrn Geheimen Regierungsrat Dr. Aderhold, für die liebenswürdige Erlaubnis, die reichen Mittel seines Instituts benutzen zu dürfen.

Fusarium-Krankheiten der Leguminosen.

Mit 3 Textabbildungen.

A. Die St. Johanniskrankheit der Erbsen.

Im vergangenen Sommer trat an den Felderbsen auf dem Versuchsfelde in Dahlem eine eigentümliche Erkrankung auf, die zum vorzeitigen Absterben eines hohen Prozentsatzes aller Pflanzen führte. Die von der Krankheit ergriffenen Erbsen waren nicht gleichmäßig über das ganze Feld verteilt, sondern standen meist in größeren Verbänden zusammen, so daß das Feld von mehr oder weniger großen Flächen kranker Pflanzen durchsetzt war. Teilweise erinnerten solche Stellen, soweit sie sich als Streifen durch das Feld zogen, an eine strichweise Schädigung durch Hagel, oder, soweit es sich um mehr oder weniger runde Flecke handelte, an Stellen, wie sie durch ungleichmäßige Bodenbeschaffenheit in trockenen Jahren hervorgerufen und vom Landwirt als „verbrannt" bezeichnet werden. Eine Untersuchung ergab jedoch, daß es sich hier um eine Krankheit handelte, die unter der Mitwirkung eines Pilzes aus der Gattung Fusarium zustande kommt und die ihrer ganzen Ausbreitung nach als eine Epidemie angesprochen werden muß.

In Deutschland ist eine solche Epidemie bisher noch nicht beobachtet worden, wohl aber ist sie den holländischen Landwirten seit mehreren Jahren bekannt. Von dorther ist sie auch im Jahre 1903 unter dem Namen „St. Johanniskrankheit" von J. J. van Hall in einer vorläufigen Mitteilung[1]) beschrieben worden.

Das Bild, unter dem die Erbsenpflanzen bei dieser Krankheit zu Grunde gehen, ist das einer typischen Welkekrankheit. Gewöhnlich fangen einzelne der jüngeren Blättchen, seltener einzelne Blatteile an, schlaff zu werden, eine Erscheinung, die sich bald auch über den Blütenstand verbreitet. Allmählich werden dann die gewelkten Organe trocken, manchmal ohne sich zu verfärben, meist aber unter gleichzeitigem Vergilben. Hieran schließt sich ein ziemlich rasches Vertrocknen der ganzen Pflanzen. Diese legen sich zu Boden, und es sehen dann die betreffenden Feldstücke ebenso aus, als wenn die Pflanzen normal abgereift wären. Dieser Zustand tritt jedoch gewöhnlich bei uns schon Ende Juni ein, weshalb sich in Holland der von van Hall gegebene Name „St. Johanniskrankheit" eingebürgert hat. Sind um diese Zeit bereits Hülsen entwickelt, so werden die am weitesten fortgeschrittenen reif, der jüngere Nachwuchs wird aber ebenfalls welk und vertrocknet. An den reifen Hülsen und Samen konnte ich Krankheitsmerkmale nicht auffinden, und Keimungs- wie Aussaatversuche ergaben, daß aus solchen Samen völlig gesunde Pflanzen erwachsen.

[1]) Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft. Bd. 21. 1903. S 2—5; mit 1 Tafel.

Daß die Krankheit in Deutschland noch nicht aufgetreten sei, ist kaum anzunehmen, vielmehr glaube ich, daß sie wegen der großen Ähnlichkeit der kranken Pflanzen mit aus anderen Gründen frühzeitig absterbenden bis jetzt bei uns nur übersehen worden ist.

Nachdem die Krankheit einmal auf dem Versuchsfelde festgestellt war, konnte ich sie leicht an mehreren Orten in der Umgebung von Berlin nachweisen, und Herr Regierungsrat Appel traf sie in der Gegend von Lübeck an.

Um zu erfahren, ob sie auch noch weiter in Deutschland verbreitet sei, wurde an eine Reihe von Landwirten eine entsprechende Anfrage gerichtet, mit der Bitte um Einsendung von Material und Mitteilung über etwa vorliegende Beobachtungen.

Antworten nebst Material, an dem die Erkrankung festgestellt werden konnte, sind aus Westpreußen, Schlesien, Brandenburg (an der Grenze der Provinz Posen, und aus der Neumark), ferner aus Schleswig-Holstein und Thüringen eingegangen. Damit steht fest, daß die Krankheit über einen großen Teil Deutschlands verbreitet ist. Es ist aber anzunehmen, daß hiermit keineswegs ein vollständiges Bild ihrer Verbreitung geschaffen ist, vielmehr dürfte es sich erweisen, daß ihr Vorkommen ein noch ausgedehnteres ist.

Bei näherer Untersuchung einzelner erkrankter Pflanzen zeigten sich am Wurzelhals und den unteren Stengelteilen dunkel verfärbte, häufig etwas rissige Stellen, die sich an den untersuchten Exemplaren bis ungefähr 10 cm über die Erdoberfläche erstreckten, um von dort an in eine hellere Gelbfärbung überzugehen, die sich auch über die oberen Stengelteile verbreitete. Die mikroskopische Untersuchung ließ erkennen, daß von den rissigen Stellen aus sich Pilzmycel ins Innere der Pflanze verbreitete. Dort war das Mycel weiter zu verfolgen und zwar an den basalen Teilen im Holzkörper und den Rindenpartien, weiter nach oben hin aber nur in den Gefäßen. In diesen letzteren waren wenige und im allgemeinen auch wenig verzweigte Mycelstränge zu sehen, während in den einzelnen Zellen des Rindenparenchyms sich die Pilzfäden zu Ballen häuften.

Nur selten zeigten sich auch in den Gefäßen das Pilzmycel zu Ballen verknäuelt, die das ganze Lumen ausfüllten, so daß ich nicht annehme, daß die Mycelkonglomerate zu der die Wasserleitung unterbindenden Verstopfung der Gefäße allein führen können. Dieselbe wird vielmehr in einem die Pilze schädigenden Umfange durch gummiartige Massen hervorgerufen, die sich sowohl in den behöften Tracheen, als auch in den Spiralgefäßen finden. Diese Leitungsbahnen sind mit einem leuchtenden, gelb glänzenden gummiartigen Stoff erfüllt, der, wie sich beim Schneiden zeigt, verhärtet ist und muscheligen Bruch aufweist; die Membran der Gefäße ist stark gebräunt. Abgesehen davon, daß die Membran der den Gefäßen benachbarten Holzparenchymzellen ebenfalls bräunlich verfärbt ist, finden sich solche gummiartigen Füllmassen außer in den erwähnten Gefäßröhren in keinem anderen Gewebeelement des Stengels. Das Phloëm der Gefäßbündel ist frei von solchen gummiartigen Stoffen, ebenso sind es Markstrahl, Mark und Rinde.

Da die gegenwärtigen Massen sich nicht in Wasser lösen, kann es sich nicht um reines Gummi, Arabin, handeln, sondern um ein Gemisch von Stoffen. Daß unter diesen sich Pflanzenschleim in größerer Menge befindet, nehme ich nicht an, da eine erhebliche Quellung der Substanz im Wasser nicht festzustellen war. Zusatz eines Gemisches von Alkohol und Wasser bewirkt aber nach längerer Einwirkung eine ziemlich weitgehende Lösung der gummiartigen Massen, und deshalb möchte ich vorläufig annehmen, daß wir es in den Füllmassen mit einem Gummiharz zu tun haben.

Findet sich in den durch Gummi verstopften Gefäßen noch Pilzmycel, so zeigt dieses ebenfalls eine hellgelbe, glänzende Färbung, während die in anderen Geweben sich befindenden Hyphen durchaus farblos sind.

Kulturen dieses Mycels ließen sich leicht gewinnen durch steriles Herausschneiden erkrankten Gewebes und Übertragen desselben auf Gelatineplatten, aber auch durch bloßes Auslegen der erkrankten Pflanzen in feuchten Kammern und Abimpfen des sich rasch entwickelnden Luftmycels. An diesen Kulturen zeigte es sich, daß einem Fusarium die verheerende Wirkung auf die Erbsen zuzuschreiben war. Da das vorliegende Krankheitsbild mit dem von van Hall geschilderten übereinstimmt, muß angenommen werden, daß diese Erbsenkrankheit in Deutschland mit der aus Holland beschriebenen St. Johanniskrankheit übereinstimmt. Nach der von van Hall gegebenen Abbildung[1]) hat dieser Autor an dem Mycel im Innern des Wirtes auch noch Mikrokonidien beobachtet, die er nach dem Vorgange von Smith[2]) als Cephalosporium-Fructifikation bezeichnet. Ein gleiches Bild konnte ich bei der Untersuchung nicht finden, dagegen traten nicht allzu selten im Gewebe — vor allem in den Rindenteilen — wohlausgebildete Chlamydosporen auf.

Eine weitere Kultur des Pilzes brachte noch andere Fruchtformen zur Beobachtung. Schon an rohem Material, das in größeren Schalen feucht ausgelegt wurde, zeigte sich in weniger als 24 Stunden reichlich Luftmycel, an dem nach 2—3 Tagen Mikro- und Makrokonidien abgeschnürt wurden, letztere in auffälliger Minderzahl im Vergleich zur Menge der Mikrosporen. Schneller noch trat das Luftmycel hervor, wenn die Pflanzen an den basalen, hauptsächlich erkrankten Stengelteilen schräg angeschnitten wurden, so daß ein größerer Teil des Holzes und der Rinde bloßgelegt war.

Daß in dem gefundenen Pilz der Krankheitserreger zu erblicken war, konnte nach diesen Befunden gar nicht zweifelhaft sein. Durch die ausgedehnte Verstopfung der Gefäße mußte die befallene Pflanze durch Verwelken zu Grunde gehen. Um aber den Beweis dafür, daß die schädigende Wirkung auf die Wirtspflanze ausschließlich von dem gefundenen Fusarium ausgeht, einwandfrei zu erbringen, war es nötig Impfversuche vorzunehmen. Diese wurden auf zwei verschiedene Arten angestellt, einmal an Wasserkulturen, das andere Mal an in Töpfen gezogenen

[1]) a. a. O. Fig. 3. Tafel 1.

[2]) „Cephalosporium stage". Smith, Erw. F., Wilt disease of cotton, watermelon and cowpea (Neocosmospora n. gen.). U. S. Dep. of Agr., Div. of veget. physiol. and pathology. Bull. 17. Washington 1899. S. 11.

Pflanzen. Die Wasserkulturen wurden in den üblichen Kulturgefäßen angesetzt; als Nährmedium diente Knops Lösung. Als die Pisum-Pflänzchen etwa 5 cm hoch waren, wurden die Impfungen vorgenommen. Diese erfolgten am Wurzelhals in der Art, daß auf kleine, künstlich herbeigeführte, oberflächliche Wundstellen konidienenthaltendes Fusariummycel übertragen wurde oder in anderen Fällen konzentrierte Aufschwemmungen von Mikro- und Makrokonidien auf die verletzten Rindenpartien gestrichen wurden. Die Keimung der Konidien war bei einigen Pflanzen an dem sich an der Wundstelle reichlich entwickelnden Luftmycel zu konstatieren, ein Eindringen des Pilzes in die Pflanzen war aber nur an einem Teil der Kulturen zu beobachten. Diese aber gaben schon nach 4 Wochen das deutliche Bild der ersten Stadien der beschriebenen Welkekrankheit. Der Stengelgrund war gelblich braun verfärbt, eine Färbung, die weiter oben an der Pflanze in hellere Töne überging. Alle jüngeren Blättchen und mit ihnen auch die Blattstiele wurden schlaff und begannen sich ebenfalls zu verfärben. Die mikroskopische Untersuchung ergab in den unteren Stengelpartien die Anwesenheit von Mycel in den Gefäßen und dem Rindenparenchym. Sporen waren noch nicht gebildet worden. In ungeimpft gebliebenen Wasserkulturen waren sämtliche Pflanzen gesund.

Noch besser wurde der Parasitismus unseres Fusariums durch die Infektionsversuche an Topfkulturen nachgewiesen. Diese wurden folgendermaßen angestellt: je 20 gesunde Pisum sativum-Samen wurden in einer Mikrokonidien Aufschwemmung längere Zeit gerollt, und in Töpfe mit sterilisierter Erde gelegt. Sie kamen ebenso wie die Wasserkulturen ins Kalthaus.

Das Ergebnis der Infektion war folgendes: Von den 20 Samen gingen 2 überhaupt nicht auf, und an Stelle der Pflanzen erschien ein weißer Belag von Pilzmycel über den Samen auf der Erde. Das Mycel wuchs auf dem Boden kräftig weiter und bildete weiße Schimmelräschen von etwa 2—3 cm Durchmesser. An demselben waren Mikrokonidien nachzuweisen, die aber leicht durch das Gießen der Töpfe abgeschwemmt wurden. Die anderen Samen gingen so ziemlich gleichmäßig auf und schienen anfangs gesund zu bleiben. Aber schon nach 3 Wochen machten sich an 7 von ihnen am Stengelgrund die braungelben Stellen bemerkbar, die das Krankheitsbild einleiten. Nach 6 Wochen zeigten alle Pflanzen dieses Bild.

Bei den zuerst befallenen war die Krankheit weiter fortgeschritten, sie waren basal stark gebräunt, ihre Blättchen und Blattstiele waren welk und schon teilweise vergilbt. Im Verlauf von weiteren 8 Tagen waren 3 Pflanzen umgesunken und vollständig abgestorben. Durch mikroskopische Untersuchung konnte mit Sicherheit festgestellt werden, daß alle Pflanzen von unserem Fusarium befallen waren. Es zeigte sich Mycel in den Gefäßen und im Rindenparenchym, in welchem letzteren auch schon die Bildung von Chlamydosporen vor sich ging. Außen an den peripheren Teilen des Stengels waren verschiedentlich Mikrokonidienlager nachzuweisen. Bei der Untersuchung, die 7 Wochen nach der Infektion vorgenommen wurde, zeigten sich gummiartige Verstopfung und Mycelknäuel des Pilzes in den Pflanzen bis in eine Höhe von 6 cm über der Erde. Sämtliche Pflanzen fielen also der Welkekrankheit zum Opfer, und zwar war die Schädigung durch die Infektion hervor-

gerufen worden, denn daß die Samen vor der Infektion gesund waren, bewiesen zahlreiche Parallelversuche, bei denen Pisum-Samen, nicht infiziert ausgelegt, niemals von Fusarium befallen wurden.

Um die morphologischen und biologischen Verhältnisse des Fusariums eingehender untersuchen zu können, suchte ich Reinkulturen des Pilzes zu erhalten. Dies gelang durch steriles Übertragen erkrankten Gewebes aus dem Innern der Wirtspflanze auf Platten von saurer Gelatine.[1]) Wenn in den feuchten Kammern an dem Luftmycel, das aus den Erbsen hervorbrach, schon Konidien abgeschnürt wurden, bevorzugte ich wegen der geringeren Gefahr der Verunreinigung natürlich diese Fruchtformen zur Impfung der Gelatineplatten. Die Sporen keimten auf diesem Nährboden bei einer Temperatur von 20—26° C. in wenigen Stunden, um nach etwa 20 Stunden schon makroskopisch sichtbares Mycel zu bilden. Die Kolonien wachsen dann nicht allzu schnell heran, besitzen im allgemeinen einen kreisrunden oder doch nur wenig gebuchteten Rand und haben nach 4 Tagen einen Durchmesser von 2,8—3,2 cm, während das Luftmycel sich an der höchsten Stelle des Polsters etwa 4—5 mm hoch vom Substrat erhebt. Die ganze Kolonie zeigt von oben betrachtet Zonen, die mit dem Außenrand konzentrisch verlaufen und die hauptsächlich am Rande scharf abgegrenzt hervortreten, während sich ihre Grenzen nach dem Zentrum zu allmählich verwischen. Diese Zonen werden hervorgerufen durch Wachstumsunterschiede, die sich in einer größeren und geringeren Dichtigkeit des Mycels zu erkennen geben, und ferner durch eine Unterbrechung in der Mikrokonidienabschnürung. Die Oberseite der Kolonien verläuft ungefähr parallel der Oberfläche der Gelatineplatte, nur der Rand des Polsters liegt dem Substrat fest auf, so dafs also die ganze Kolonie ein gleich hohes mittleres Feld hat, das nach der Peripherie zu an Stärke abnimmt. Diese Art des Wachstums auf dem genannten Medium ist keineswegs für alle Fusarien dieselbe, vielmehr verdient sie für jede Spezies besonderer Erwägung; so habe ich z. B. ein weiter unten zu beschreibendes Fusarium von Lupinenhülsen in Kultur, dessen Mycel in der Mitte der Kolonie einen 6—7 mm hohen Tuff von etwa 1 cm Durchmesser besitzt; unmittelbar um diese Erhebung flacht sich das Mycel wieder zu einem 3—4 mm hohen Lager ab, um diese Dicke bis zum Rande beizubehalten und sich also nicht, wie für unser Fusarium geschildert, mit der Peripherie dem Substrat fest anzulegen. Noch unregelmäßiger gestaltet das von E. F. Smith und D. B. Swingle[2]) geschilderte Fusarium oxysporum seine Mycelpolster, doch möchte ich in dieser Beziehung auf die Arbeit selbst verweisen.

Die Farbe des Mycels ist ein ganz helles Rosa mit einem Stich ins Gelbliche, also etwa hell fleischfarben, der Rand der Kolonie erscheint aber immer bis zu einer Entfernung von 5 mm von der Peripherie rein weiß. Auf der Unterseite der Kultur

[1]) Ich bediente mich bei den Fusarienkulturen, auch bei denen von anderen Wirtspflanzen als Leguminosen wie Rüben, Kartoffeln, Tomaten, Äpfeln, Kakao, Baumwolle usw. mit Erfolg eines aus geschälten Kartoffeln gewonnenen Preßsaftes, dem 10—12% Gelatine, 10% Rohrzucker und 2% Zitronensäure zugefügt waren.

[2]) Smith, Erw. F. and Swingle, Deane B., The dry rot of potatoes due to Fusarium oxysporium. U. S. Dep. of. Agr. Bur. of plant industry. Bull. 55. Washington 1904. S. 28.

in Berührung mit dem Substrat ist das Mycel dunkler gelbrosa gefärbt. Die Dicke der Mycelfäden variiert zwischen den Grenzen 3 und 6 μ, die einzelnen Zellen sind an Länge so verschieden, daß es sich nicht lohnt, für sie Maße anzugeben. Das Mycel ist an den jüngeren Hyphen von einem nur ganz fein granulierten, fast hyalinen Protoplasma erfüllt, das aber mit dem Alter der Zelle sehr vakuolenreich werden kann. Die Verzweigung der einzelnen Fäden ist eine reichliche, aber die jüngsten Hyphen zeigen erst in ziemlich großer Entfernung von ihrer Spitze Ansätze zur Verästelung, so daß der Rand einer Kolonie immer von unverzweigten, radial verlaufenden Fäden gebildet wird.

In einem gewissen Abstande, 800—900 μ, vom äußersten Rande der Kolonie werden die ersten Mikrokonidien abgeschnürt. Sie werden meist am Luftmycel gebildet, können aber auch seitlich an Hyphen entstehen, die dem Substrat anliegen. Sie bleiben dann, bis zu 10 Stück ein Köpfchen („Cephalosporium stage") bildend, neben der Hyphe liegen, von der sie abgeschnürt wurden. Sie sind meist einzellig, nicht allzu selten bestehen sie aber aus zwei Zellen. Ihre Form ist länglich oval mit etwas zugespitzten Enden. Zuweilen sind die Mikrokonidien leicht gekrümmt und neigen einer ganz schwach sichelförmigen Gestalt zu, daneben kommen solche vor, die kurz vor ihrem einen Pol eine seichte Einschnürung haben und daher geknöpft erscheinen. Ihre Länge schwankt zwischen 9 und 27 μ, ihr größter Durchmesser beträgt 3—4,5 μ; das Plasma in ihnen ist ganz fein granuliert, häufig mit größeren Vakuolen versehen. Die Membran ist dünn und hyalin.

Die Keimung der Mikrokonidien beginnt mit einer Quellung, die sich in destilliertem Wasser bei 20—30° schon nach zwei Stunden zeigt, gleichzeitig sind deutlich polare Plasmaansammlungen zu erkennen, die in der Spore den äquatorialen Teil hyalin erscheinen lassen. Bald darauf sieht man an dem einen Ende, nicht selten auch an beiden Polen der Spore, daß die Membran weniger scharf hervortritt, sie wird dünner, wahrscheinlich infolge einer Dehnung, die die immer mehr polwärts drängenden Plasmamassen hervorrufen. Nach drei Stunden werden die ersten Ausstülpungen eines Keimschlauches bemerkbar. Das Hervorbrechen desselben kann an dem Pole nach allen Richtungen erfolgen; geschieht es genau apikal, so biegt sich doch der Keimschlauch sehr bald von der Längsachse der Spore ab, meist aber tritt der Keimschlauch überhaupt an einer dem Pilze genäherten Seitenpartie heraus, so daß die erste Wachstumsrichtung des Schlauches senkrecht auf der Längsachse der Spore steht. So erinnern die ersten Keimungsbilder häufig an die Gestalt eines Winkels oder einer Krücke. Nicht selten treten zwei Keimschläuche aus der Spore heraus, die dann bald Vakuolen aufweist. Eine Septierung des jungen Mycelfadens und Verzweigung tritt in destilliertem Wasser ziemlich spät auf. (Über das Verhalten in anderen Medien siehe unten.) Die erste Scheidewand befindet sich der Konidie immer ziemlich genähert, ebenso ist die erste Verzweigung stets nahe dem basalen Ende des jungen Keimfadens gelegen.

Die zeitlich nächste an den Kulturen auftretende Sporenform sind die Makrokonidien. Diese durch ihre typische Gestalt für die Konstatierung des Genus Fusarium wichtige Fruchtform wurde in noch weiterer Entfernung vom Rande der

Kolonie angelegt, als es für die Mikrokonidien angegeben worden ist. Sie sind 3—6 zellig und von ausgesprochener Sichelform mit scharf zugespitzten Zellen an den Enden. Die einzelnen Zellen sind zwischen den Septen etwas bauchig aufgetrieben, so daß diese Konidien 2—5 mal an den Scheidewänden schwach eingeschnürt erscheinen. Zuweilen treten Makrokonidien auf, deren Spitzen nach zwei verschiedenen Seiten vom Mittelteil abgebogen sind, so daß eine an die Diatomee Pleurosigma erinnernde Form resultiert. Die Konidien sind an der breitesten Stelle ungefähr 3—5 μ dick, ihre Länge beträgt 50—65 μ; die zugespitzten Endzellen sind doppelt so lang, als die mittleren. Wieviel Makrokonidien von derselben Hyphe abgeschnürt werden, konnte nicht festgestellt werden, da sie im Gegensatz zu den Mikrokonidien nur an Mycelfäden gebildet werden, die sich in die Luft erheben, und sofort nach der Abschnürung abfallen.

Die Makrokonidienkeimung beansprucht ziemlich genau dieselbe Zeit, wie es für die Mikrokonidien angegeben wurde. Eine bemerkenswerte Quellung findet nicht statt. Die Mittelzellen der Spore wie auch die Endzellen können Keimschläuche entsenden, meist keimen aber nur zwei Zellen, ganz selten drei. Die übrigen behalten lange Zeit ihr körniges Plasma. Verästelung und Septierung des Keimfadens tritt erst spät ein.

Mehr der Mitte der Kolonie genähert, also an dem ältesten Mycel, bildeten sich endlich die Chlamydosporen als intercalare, seltener terminale Anschwellungen der Hyphen. Sie liegen häufig zu mehreren dicht gedrängt nebeneinander und bilden perlenschnurartige Stränge.

Die Chlamydosporen entstehen als anfangs spindelförmige Erweiterungen eines Mycelfadens, die sich allmählich mehr und mehr abrunden und an den beiden Polen sich durch Querwände scharf vom übrigen Teil des Fadens absetzen. Sie hatten auf der Gelatinekultur einen Durchmesser von 10—15 μ und wiesen ein ganz dichtes von Fettröpfchen durchsetztes Plasma auf. Die größere Dichtigkeit des plasmatischen Inhalts dieser Sporen gegen die angrenzenden Hyphenzellen war besonders nach künstlicher Färbung des Plasmas in die Augen springend. Die Membran solcher Chlamydosporen ist hyalin und wächst nicht zu der Dicke heran, die die im Parenchym der Wirtspflanze gebildeten Chlamydosporen aufweisen. Die Chlamydosporen unseres Fusarium hatten immer eine glatte Membran, sowohl in der Wirtspflanze, als auch auf den verschiedenen Medien, auf denen, wie weiter unten beschrieben, der Pilz gezüchtet wurde. Es ist dies als Unterschied festzuhalten gegenüber dem Fusarium rhizogenum und dem F. erubescens, die nach Angabe der Autoren[1]) auf einem Teil der Nährböden mit kegelförmigen Wandverdickungen versehene Chlamydosporen abschnüren, auf anderen Substraten dagegen und zwar hauptsächlich bei untergetauchtem Wachstum des Pilzes glattwandige Dauersporen produzieren.

[1]) a) Aderhold, R., Arbeiten der botanischen Abteilung der Versuchsstation des Kgl. Pomologischen Instituts zu Proskau. II. Bericht. Zentralblatt f. Bakt., Parasitenk. u. Infektionskrankheiten. II. Abt. Bd. VI. S. 623.

b) v. Oven, Über eine Fusariumerkrankung der Tomaten. Landw. Jahrb. 1905. S. 509.

Die Keimung erfolgt nach etwa 4—5 Stunden in destilliertem Wasser und bei Zimmertemperatur mit einem ziemlich dicken sich bald krümmenden Keimschlauch. Eine für den Durchbruch des Keimfadens präformierte Stelle der Membran ist nicht zu erkennen. Ein Teil der auf künstlichen Medien gezogenen Chlamydosporen keimt überhaupt nicht; offenbar liegt dies daran, daß vollständige Reifung der Sporen auf diesen Substraten nur vereinzelt eintritt, vor allem scheinen bei untergetauchtem Wachstum des Pilzes reife Sporen nicht gebildet zu werden.

Tropfenkulturen, die auf Objektträgern angelegt wurden und so jederzeit mikroskopisch untersucht werden konnten, zeigten, daß Chlamydosporen, immer nur gegen Ende des Wachstums, also nach Erschöpfung der Nährstoffe, gebildet wurden, so daß die Chlamydospore mit Recht als Sporenform aufgefaßt wird, zu deren Abschnürung sich der Pilz entschließt, um ungünstige Perioden erfolgreich zu überdauern.

Als weitere Dauerform einiger Fusarien war das Sklerotium erkannt worden. So beschrieben Smith und Swingle[1]) für Fus. oxysporum unregelmäßig gestaltete, höchstens 5 mm im Durchmesser betragende grüne Sklerotien und E. v. Oven[2]) hat solche linsen- bis erbsengroße harte, rotbraune Pilzkörper für sein Fus. erubescens erwähnt und abgebildet. Die genannten Autoren erhielten sie bei Kultur des Pilzes auf sterilisierten Kartoffeln.

Auf die Gewinnung von Sklerotien zielende Impfungen blieben für das Pisum-Fusarium bislang erfolglos, während bei anderen Fusarien z. B. einem vom Apfel isolierten, wunderschön über 1 qcm große Sklerotien in die Erscheinung traten. Immerhin ist es möglich, daß auch bei Fus. vasinfectum var. Pisi die Sklerotien irgendwann im Entwicklungsgange des Pilzes auftreten und daß die Chlamydosporen nicht die einzige Dauerform dieses Pilzes darstellen. Möglicherweise wird eine Weiterkultivierung des Erbsenpilzes hierüber genaueren Aufschluß geben.

Ebensowenig wie Sklerotien wurden Perithecien gefunden, trotz Durchzüchtung des Pilzes auf verschiedenen Substraten. Ob aber überhaupt dieses Ausbleiben darauf zurückzuführen ist, daß dem Fusarium nicht das notwendige Medium zur Bildung einer Askusfruktifikation zur Verfügung stand, oder ob die Fähigkeit zu einer solchen Fruchtbildung dem Pilz im Laufe seiner asexuellen Generationen verloren gegangen ist, muß vorerst eine offene Frage bleiben.

Von den oben angeführten Sporenformen werden aber keineswegs alle unter denselben äußeren Bedingungen gebildet, dies zeigte sich schon an den Erbsenpflanzen selbst, wo das Fusarium große Neigung zur Bildung von Mikrokonidien und Chlamydosporen zeigte, Makrokonidien aber nur in verschwindender Anzahl zur Abschnürung brachte. Um diese Variationsweite des Pilzes in bezug auf die Art der produzierten Sporen in Abhängigkeit vom gebotenen Medium kennen zu lernen, wurden Tropfenkulturen angesetzt. Folgende Substrate wurden benutzt:

---

[1]) a. a. O. S. 34.
[2]) a. a. O. S. 505.

1. Saure Kartoffelsaft-Gelatine (wie oben S. 11 beschrieben).
2. Schwach alkalischer Kartoffelsaft-Agar + 1% Pepton + 0,5% Kochsalz.
3. Uschinskys Nährlösung.
4. Steriles destilliertes Wasser.
5. Knops Nährlösung und
6. eine ebenfalls rein mineralische Nährlösung folgender Zusammensetzung:

0,2 g Kaliumnitrat,
0,2 g Dikaliumphosphat,
0,1 g Magnesiumsulfat,
0,2 g Calciumchlorid
auf 1000 ccm Wasser.

Von diesen Medien wurde ein Tropfen auf einen Objektträger gebracht, der nach erfolgter Impfung in eine sterile feuchte Kammer — mit nassem Fließpapier ausgelegte Petrischale — übergeführt wurde. Die Kulturen wurden bei 26—27° C. aufgestellt. Die Impfung selbst erfolgte so, daß aus einer Gelatine-Reinkultur Luftmycel entnommen und dasselbe in dem Tropfen abgespült wurde. Mikroskopisch wurde in jedem einzelnen Falle festgestellt, daß eine genügende Anzahl von Mikrokonidien auf den Tropfen übertragen waren.

In saurer Kartoffelsaft-Gelatine war schon 2—3 Stunden nach der Aussaat der Mikrokonidien eine sichtbare Quellung derselben zu konstatieren, das Plasma sammelte sich polar an, so daß häufig eine biskuitförmige Anschwellung der Sporen resultierte, die nach 4 Stunden nur wenig zugenommen hatte. Nach $5\frac{1}{2}$ Stunden wurden auf diesem Medium die ersten Keimschläuche sichtbar, aber nur ganz vereinzelte Sporen waren gekeimt. Die Keimschläuche verließen die Konidien in der Weise, wie es oben für die Keimung in destilliertem Wasser geschildert wurde. Nach $9\frac{1}{2}$ Stunden war die überwiegende Anzahl der Sporen gekeimt. Die Schläuche hatten die 4—6fache Länge der Konidien. Nach 12 Stunden war eine mehrfache Segmentierung des Mycels eingetreten, welches auch sich zu verzweigen und Konidienträger zu bilden anfing. Nach 20 Stunden war reichliches Wachstum des Mycels zu beobachten, Konidien waren aber noch nicht zur Abschnürung gelangt. Nach 24 Stunden trat dies an vereinzelten Stellen ein, die Konidienträger wiesen ziemlich konstant die 6fache Länge der Konidien selbst auf.

Nach $26\frac{1}{2}$ Stunden waren von den Trägern schon 1—2 Konidien abgeschnürt worden. Nach 48 Stunden waren reichlich Mikrokonidien, dagegen keine Makrokonidien gebildet; die mit körnigem Plasma erfüllten Hyphen zeigten verschiedentlich Ansätze zur Chlamydosporenbildung. Aus dem Tropfen erhob sich an einigen Stellen schon reich verzweigtes Luftmycel, das einen bis 1 mm dicken Belag bildete.

Ähnlich üppiges Wachstum zeigte die Kultur auf alkalischem Kartoffelsaft-Pepton-Agar, wo die Konidien nach 3—4 Stunden gequollen waren. Nach $5\frac{1}{2}$ Stunden waren schätzungsweise 10% aller Konidien gekeimt, die Keimlinge waren meist von Krückenform. Nach $9\frac{1}{2}$ Stunden waren alle gekeimt und die Keimschläuche unverzweigt und 4mal so lang wie die Konidien. Verzweigung und

mehrfache Septierung des Mycels trat nach 12 Stunden ein. Hierauf wurden schon nach 20 Stunden die ersten Konidien abgeschnürt; dies geschah meist an Trägern, die dieselbe Länge aufwiesen, wie bei der Gelatinekultur, aber daneben fand eine solche Abschnürung auch zuweilen am Mycelende statt. An vereinzelten Stellen wurde schon Luftmycel gebildet, das nach 24 Stunden eine Höhe von 4 mm erreichte. In dieser Zeit waren überaus reichlich Mikrokonidienträger gebildet worden, die so eng aneinander standen, daß die Hyphen wie mit Borsten besetzt erschienen, zuweilen fanden sich schon 1—2 Konidien am Träger. Nach $26\,^1/_2$ Stunden waren bis zu 3 Konidien an dem reich verzweigten Mycel zur Abschnürung gelangt, deren Anzahl nach 48 Stunden auf etwa 5 anwuchs. Zu dieser Zeit wurden häufig gabelig verzweigte Konidienträger beobachtet, die dann die doppelte Zahl von Sporen aufwiesen. Dieser Überfluß in der Mikrokonidienbildung ist sehr in die Augen springend.

Auf den erwähnten beiden festen Substraten wurde auch auf die Ausscheidung von amorphem Calciumkarbonat durch den Pilz gefahndet, die v. Oven[1]) bei Fusarium erubescens nachweisen konnte. Es zeigte sich, daß unser Pilz sich anders verhält, als der Tomatenschädling. Ich konnte keinerlei Gebilde zwischen den Hyphen auffinden, die den bei v. Oven erwähnten in Bezug auf Gestalt und Reaktion glichen.

Die Kultur in Uschinskys Nährlösung brachte nach vorangegangener Quellung und polarer Plasmahäufung, die sich in denselben Zeiten vollzogen, wie auf den beiden ersten Medien, die Sporen nach $5\,^1/_2$ Stunden zu vereinzelter Keimung. Nach $9\,^1/_2$ Stunden waren nur etwa 5—10 % gekeimt, aber es waren noch keine distinkten Schläuche gebildet, vielmehr bildete der hervortretende Keimling an dem Pol der Spore nur eine kleine Kuppe, die etwa $^1/_6$ bis $^1/_8$ der Konidienlänge maß. Nach 12 Stunden waren die meisten Sporen mit kräftigem Mycelschlauch gekeimt, der sich bereits zur Verästelung anschickte. Nach 20 Stunden waren noch immer einzelne Konidien nicht gekeimt. An dem heranwachsenden Mycel wurden neue Sporen noch nicht abgeschnürt. Nach 24 Stunden war die gesamte Aussaat gekeimt. Es zeigte sich schwache Mikrokonidien- und Chlamydosporenbildung. Die Mikrokonidienträger maßen nur die Hälfte der Konidienlänge. Nach 48 Stunden erhob sich ein 5 mm hohes Polster von Luftmycel aus dem Tropfen. Das Plasma der 2—6 μ dicken Hyphen wies viele Fettropfen auf. Auffallend aber war, daß in diesem Medium auch Makrokonidien abgeschnürt wurden.

In sterilem destillierten Wasser trat die Keimung am schnellsten ein. Sie vollzog sich an einigen Sporen schon nach 3 Stunden, um nach einer weiteren Stunde einen Keimschlauch von der Länge der Konidie hervorzubringen. Zu dieser Zeit waren etwa 50 % gekeimt. Dieses Stadium zeigte sich auch noch nach $5\,^1/_2$ Stunden. Nach $9\,^1/_2$ Stunden waren erst wenig mehr, etwa 60—70 % gekeimt, die Keime waren dünn und teilweise sehr lang, aber alle noch unverzweigt. Nach 12 Stunden war die Keimung an allen Sporen eingetreten; Verästelung und Konidienbildung standen noch aus. Dieses Bild blieb wieder für lange Zeit unverändert;

[1]) v. Oven a. a. O. S. 507 ff.

erst nach 24 Stunden zeigte sich vereinzelt Mikrokonidienbildung, und ein kleiner Tuff von verzweigtem Luftmycel erhob sich über die Oberfläche des Tropfens. Auch nach 48 Stunden waren wenig Sporen gebildet, darunter aber einige Makrokonidien, die von einzelnen Trägern schon in der Zweizahl abgeschnürt waren; Chlamydosporen wurden spärlich terminal und intercalar am Mycel abgeschnürt. Wegen der verschwindenden Sporenmengen, die auf diesem Substrat produziert wurden, kamen die Kulturen — es wurden zur Kontrolle immer mehrere Objektträger besät — nach 72 Stunden noch einmal zur Beobachtung, nur mit dem Erfolge, daß auch jetzt die Konidienabschnürung eine spärliche zu nennen war. Die Konidienträger hatten nur die halbe Länge der Sporen.

Die unter 6. angeführte mineralische Nährlösung zeitigte ein ähnliches Bild wie das letzterwähnte Medium. Die Befunde nach 3 und 4 Stunden waren dieselben wie für destilliertes Wasser, nach $9^1/_2$ Stunden begannen einzelne Schläuche sich zu verzweigen, das Mycel war etwas kräftiger als in reinem Wasser. Nach 24—26 Stunden verästelte sich das Mycel und schnürte vereinzelte Mikrokonidien von kurzen Trägern ab. Nach 48 Stunden zeigte sich spärlich Luftmycel. Aber im Gegensatz zu den nur in der Ein- bis Zweizahl produzierten Mikrokonidien wurden Makrokonidien reichlicher entwickelt. Chlamydosporen wurden nicht beobachtet.

In Knopscher Nährlösung begann die Keimung nach $4^1/_2$ Stunden. Die meisten Sporen keimten aber sehr langsam und nach $9^1/_2$ Stunden war die Zahl der gekeimten Sporen auf etwa 20—30% der gesamten Aussaat abzuschätzen. Nach 12 Stunden waren mit wenigen Ausnahmen alle Konidien gekeimt. Die jungen Keimfäden waren kräftig aber noch nicht soweit entwickelt, wie die in der „mineralischen Nährlösung“ nach einer gleichen Zeitdauer. Konidien waren auch nach 20 Stunden noch nicht abgeschnürt. Nach 24 Stunden setzte diese Produktion ein, und zwar war jetzt je eine Konidie an jedem Träger gebildet. Die Verzweigung des Mycels war schwach. Nach 49 Stunden endlich waren Mikro- und Makrokonidien gebildet. Chlamydosporen-ähnliche Anschwellungen wurden wenig bemerkt. Luftmycel war nicht entwickelt; die Mycelfäden waren dünn und unregelmäßig gekrümmt, dickere Myceläste zeigten viele Fettropfen. Diese früh auftretende Degenerationserscheinung zeigt, daß die Knopsche Lösung für das Gedeihen des Pilzes unvorteilhaft ist; übrigens ließ auch schon eine oberflächliche Beobachtung erkennen, daß nur ein kümmerliches Wachstum auf diesem Medium stattfindet.

Einen Vorteil aber bot uns diese Hungerkultur, die Möglichkeit, bei dem spärlich vorhandenen Mycel und der geringen Anzahl von Sporenträgern, die Art der Mikrokonidienabschnürung unter dem Mikroskop mit der Uhr in der Hand verfolgen zu können. Die Kultur war ebenfalls bei 26—27° C. gehalten worden. Bei Beginn der Beobachtung um $10^h\ 34^m$ wurde ein Träger ins Auge gefaßt, der eben dabei war, eine vollständig ausgebildete Konidie abzuschnüren. Das Umsinken derselben erfolgte um $10^h\ 39^m$. Der stehenbleibende Konidienträger begann sich sofort etwas zu strecken, um sich um $10^h\ 54^m$ am apikalen Ende zu erweitern; diese Anschwellung nahm unter gleichzeitigem stetigen Längenwachstum zu. Um $11^h\ 29^m$ trennte sich die Spore durch eine am basalen Ende der Ausstülpung sich bildende Querwand

vom Träger ab. Die Konidie war jetzt etwa $^3/_4$mal so groß wie eine vollkommen ausgebildete, ihr Wachstum setzte sie noch bis $11^h\ 47^m$ fort, wo sie vom Träger abfiel. So ist die Dauer der Bildung einer Konidie auf etwa $1^1/_4$ Stunden zu veranschlagen, nach wiederum derselben Zeit wird dann eine neue Spore gebildet. An dem beobachteten Objekt stellten mehrere Träger ihre Tätigkeit nach der Abschnürung von 2 Konidien ein, bei anderen aber konnte die Entstehung von 3 und 4 Konidien an demselben Träger beobachtet werden.

Vergleichen wir die Resultate dieser Kulturversuche, so fällt auf, daß Agar und Gelatine für ein üppiges Wachstum des Fusarium die geeignetsten Substrate darstellen, die in dieser Beziehung die flüssigen Nährböden weit hinter sich lassen. Von den beiden festen Medien wiederum war es der Agar, auf dem die Entwicklung des Pilzes einen deutlichen Vorsprung hatte, dies zeigte sich vor allem in der schnelleren Konidienabschnürung und der stärkeren Ausbildung von Luftmycel.

Von den flüssigen Substraten zeigte sich Uschinskys Nährlösung als dem Pilz am meisten zusagend. Die anderen führten mehr oder weniger zu Hungerkulturen des Fusarium, was die geringe Mikrokonidienabschnürung und die gleichzeitige meist nur bei kümmerlichem Wachstum statthabende Bildung von Makrokonidien zeigte. Nach längerer Kultur im Tropfen bis nahe zur Erschöpfung der zu Gebote stehenden Nährstoffe bildeten alle Kulturen Makrokonidien. Daß Makrokonidien auch dann leichter gebildet wurden, wenn der Pilz zu rasch aufeinanderfolgenden Malen auf neues Substrat übertragen wurde, wie dies von Oven für Fus. erubescens beschreibt und Osterwalder[1]) es an F. putrefaciens beobachtet hatte, konnte nicht festgestellt werden.

Von diesen Medien ist das destillierte Wasser aber besonders dadurch ausgezeichnet, daß es am schnellsten die Keimung vor sich gehen läßt, was wohl durch osmotische Verhältnisse zu erklären ist. Endlich ist noch auf einen durchgehend gefundenen Unterschied zwischen festem und flüssigem Medium aufmerksam zu machen, der sich in der verschiedenen Länge der Konidienträger äußert. Auf Agar und Gelatine erreichten die Träger stets die 6fache Länge der Konidien, während sie auf den flüssigen Substraten nur höchstens halb solang wie diese Sporen wurden. Man könnte möglicherweise hierin eine zweckmäßige Einrichtung erblicken, wenn man annimmt, daß der Pilz seine Sporen zwecks Verbreitung an möglichst exponierten Stellen entwickelt und bei dem auf festem Substrat viel höheren Luftmycel gezwungen ist, auch auf längeren Konidienträgern seine Sporen zur Abschnürung zu bringen, als er es auf flüssigem Medium zu tun nötig hat.

Bei der Verbreitung der St. Johanniskrankheit der Erbsen spielen zweifellos die Mikrokonidien die hervorragendste Rolle, darauf deutet ihre massenhafte Ausbildung hin und die Leichtigkeit, mit der sie keimen. Um über diese Keimung noch einen genaueren Überblick zu gewinnen, untersuchte ich ihre Abhängigkeit von der Temperatur. Die Versuche wurden so angestellt, daß auf Objektträgern Wassertropfen-Kulturen in die Kammern von zwei Thermostaten gebracht wurden.

[1]) Zentralblatt f. Bakt, Infektionskr. u. Parasitenkunde. II. Abt. Bd. XIII. Heft 5—7. S. 330.

Die 20 Kammern dieser beiden Apparate weisen Temperaturen von +1 bis +48° C. in gleichmäßigen Abstufungen auf.

Nach $2^1/_2$ Stunden war eine Keimung nirgends eingetreten, wohl aber waren in sämtlichen Tropfen die Sporen in früher beschriebener Weise zur Keimung vorbereitet. Eine Ausnahme machten die Konidien, die einer Temperatur von 42—48° ausgesetzt waren. Die typische polare Plasmaansammlung, die normaler Weise die anderen Konidien zeigten, blieb hier aus. Das Plasma in ihnen war unregelmäßig zerklüftet und wies große Vakuolen auf. Wie sich später herausstellte, keimten diese Sporen niemals, und man muß annehmen, daß schon nach dieser kurzen Zeit der Wärmeeinwirkung die Konidien geschädigt waren. Nach 8 Stunden war in mehreren Tropfen starke Keimung zu bemerken, am meisten bei 31° und 32,5°. Abwärts bis zu 26,2° wurde der Prozentsatz der gekeimten Konidien immer geringer, unterhalb dieser Grenze war eine Keimung überhaupt noch nicht erfolgt. In den Intervallen von 32—34° waren auch noch einzelne Konidien gekeimt, bei höheren Temperaturen aber nichts davon zu bemerken. Bei 29° zeigten jetzt die Sporen dieselbe Schädigung, wie sie bei den höheren Temperaturen schon nach $2^1/_2$ Stunden eingetreten war. Nach Verlauf von 12 Stunden hatte sich für die Temperaturen von 29—37,5° eine starke Keimung ergeben, die wohl in der Menge der gekeimten Sporen bei den einzelnen Stufen etwas verschieden war, aber doch den Schluß zuließ, daß das Keimungsoptimum bei 31—32° liegt, daß aber für reichliche und schnelle Keimung auch noch die Temperaturen von 29—37° in Betracht kommen. Bei den niederen Temperaturen bis hinauf zu 17,7° war auch jetzt noch keine Keimung festzustellen, wohl aber war diese von 22—27° eingetreten. Bei 39,0° waren wenige ganz vereinzelte Konidien gekeimt.

Nach 24 Stunden zeigten sich die ersten Keimungen, wenn auch in verschwindenden Mengen, von 12° ab. Die hier ausgetriebenen Keimschläuche erreichten aber noch kaum die Länge der Konidien; aber schon bei 19° war eine reichliche, etwa 60% betragende Keimung festzustellen und die Schläuche waren etwa 6 mal so lang geworden wie die Sporen. Nahe beim Keimungsoptimum fanden sich schon mehrfach verzweigte Mycelfäden. Die vorher erwähnten bei 39° befindlichen Konidien hatten ihre Keimschläuche nur wenig verlängert, der Prozentsatz der gekeimten Sporen zeigte sich nicht erhöht. Nach 31 Stunden waren auch bei 9° schon einzelne Keimungen zu finden, es war also allmählich doch die untere Grenze, bei der Keimungen eintraten, noch weiter herabgedrückt. Im übrigen hatte sich das Bild wenig verändert, es war aber überall eine Zunahme der Zahl der gekeimten Sporen zu verzeichnen. Zwischen 27° und 36° waren nunmehr fast alle Konidien gekeimt und es hatten sich dort, wo mehrere zusammenlagen, dichte Mycelflöckchen gebildet.

Es wurde noch eine Beobachtung 48 Stunden nach der Aussaat angestellt, da aber nennenswerte Unterschiede sich nicht bemerkbar machten, wurde der Versuch abgebrochen.

Da also selbst nach 48 Stunden bei Temperaturen bis zu 7° keine Keimung eingetreten war, andererseits aber die Sporen ihr normales Aussehen behalten und

sich sogar unverkennbar zur Keimung vorbereitet hatten, so lag es nahe zu untersuchen, ob bei diesen niederen Temperaturen die Keimfähigkeit der Konidien leidet.

An verschiedenen Tagen nach der Aussaat wurden die Konidien aus den niederen Wärmegraden in die optimale Temperatur versetzt und zwar mit dem Erfolg, daß schon nach 3 Stunden eine gleichmäßige Keimung von 100% eintrat. Gerade entgegengesetzt verhielten sich die aus den höheren Temperaturen in das Optimum versetzten Kulturen. Die von 42—48° schickten sich auch bei längerem Stehen nicht mehr zur Keimung an.

Überblicken wir noch einmal diese Versuche, so finden wir als allgemeine Tatsachen, daß das Keimungsoptimum bei 31—32° liegt, daß aber für das natürliche Auftreten des Pilzes fast als gleichwertig auch noch die Temperaturen von 29—37° in Betracht kommen. Höhere Temperaturen schädigen die Konidien so intensiv, daß schon wenige Grade über der oberen Grenze der günstigen Temperatur die Keimfähigkeit ganz erlischt. Etwas langsamer geht die Keimung bei 9—29° vor sich, immerhin kommen diese Temperaturen als noch eine Keimung ermöglichend in Betracht. Unter 9° keimen die Konidien nicht, aber sie werden auch nicht geschädigt, vielmehr zur Keimung vorbereitet. Der Einfluß muß geradezu als günstig angesehen werden, da Konidien, die sich bei so niedriger Temperatur befunden hatten, unter der Einwirkung günstiger Temperatur außerordentlich rasch und sehr gleichmäßig keimten.

Betrachten wir unter dem Eindruck dieser Versuche die Entstehung einer Epidemie, so erkennen wir, daß neben der notwendigen Feuchtigkeit der oberen Erdschichten die Wärme ein wesentlicher Faktor ist. Die massenhaft von einzelnen Herden verwehten Konidien keimen an warmen Tagen zum Teil gleich, die übrigen wie auch die an kühleren Tagen entstehenden bereiten sich bei genügender Feuchtigkeit zur Keimung vor und können dadurch die etwa eintretende Wärme sehr rasch und intensiv ausnützen. Temperaturen, die sich dem Keimungsoptimum nähern, sind im Sommer in den oberen Bodenschichten nicht allzu selten; dies gilt besonders an sonnigen Tagen auch für Temperaturen zwischen 20° und 30°, die ja vor allem für die Konidien, die sich zur Keimung vorbereitet haben, die Bildung eines Keimschlauches innerhalb weniger Stunden gewährleisten.

Chemisch-physiologische Fragen.

Um einige chemisch-physiologische Fragen zu beleuchten und zu prüfen, ob und in welchem Maße unser Fusarium befähigt ist, chemische Veränderungen an dem ihm gebotenen Medium hervorzurufen, wurde damit begonnen, die Aufzehrung der Trockensubstanz durch den Pilz zu untersuchen. Es fragte sich vor allem, ob typische Cellulose, also Dextrosecellulose, durch den Pilz zur Lösung gebracht wird.

Der Versuch wurde so angestellt, daß in einen Erlenmeyerkolben zu Schnitzel geschnittenes und dann lose zusammengeballtes bestes schwedisches Fließpapier gebracht wurde, dessen Trockensubstanz vorher genau bestimmt war. Es wurden von

dem bei 100° getrockneten Papier genau 20 g in den Kolben getan. Dieses Papier wurde mit 100 ccm einer Nährlösung beschickt, die in 1000 Teilen destillierten Wassers

10 Teile Ammoniumnitrat,
5 „ Kaliumphosphat,
1 Teil Magnesiumsulfat,
2 Teile Milchsäure,
10 „ Pepton enthielt.[1])

Die Kolben wurden sterilisiert und mit Fusarium vasinfectum var. Pisi geimpft. Schon nach 8 Tagen war reichlich ganz hellgelb-rosa gefärbtes lockeres Mycel auf dem durch den Pilz ebenso gefärbten Fließpapier entwickelt. Nach 10—12 Tagen war nach starkem Wachstum des Pilzes fast das gesamte Papier mit Mycel überzogen. Mit reichlicher Mikrokonidien- und geringerer Makrokonidienabschnürung wuchs das Fusarium. Später bildete es zahlreiche Chlamydosporen, die dem Mycel auf weite Strecken und über Verzweigungen der Hyphen hinaus ein perlschnurartiges Aussehen gaben. Als das Papier bedeckt war, überzog der Pilz auch die Glaswand des Kolbens bis oben an den Wattebausch. Als nach etwa 7 Wochen das Wachstum zum Stillstand gekommen zu sein schien, wurde der Kolben sterilisiert, Fließpapier und Mycel über einem Filter, dessen Trockensubstanz bestimmt war, wiederholt mit heißem Wasser ausgewaschen. Der Fließpapierrückstand war völlig morsch und zu braunen Fetzen zerstört; das Filtrat zeigte hellgelbe Färbung und reagierte schwach sauer. Der Papierrückstand und das Filter wurden dann wieder bei 100° getrocknet und gewogen. Nach Abzug des Filtergewichtes zeigte sich, daß die Trockensubstanz des Fließpapiers sich um 9,65 g verringert hatte; es sind also 48,25 % der Trockensubstanz durch den Pilz aufgezehrt worden.

Wahrscheinlich wird hierbei aus der Cellulose Dextrose erzeugt, was aber nicht genau nachzuweisen ist, da, wie der nächste Versuch lehren wird, die Dextrose sofort vom Pilz aufgebraucht wird.

In Bezug auf die Cellulosezehrung scheinen sich aber die Fusarien sehr verschieden zu verhalten, denn von Oven[2]) konnte z. B. für sein Tomaten-Fusarium einen Celluloseverbrauch nicht konstatieren und auch ich habe bei den gemeinsam mit Herrn Regierungsrat Appel daraufhin geprüften zahlreichen Fusariumstämmen große Verschiedenheiten festgestellt.

Der Versuch zur Feststellung der Benutzung des Rohrzuckers als Kohlenstoffquelle wurde in derselben Weise angelegt, wie der Celluloseversuch, nur wurden der Nährlösung 10 % Rohrzucker hinzugefügt und das Pepton fortgelassen. Diese Anordnung wurde deshalb gewählt, weil ein quantitiver Versuch mit Fusarium nur dann mit Aussicht auf ein einwandfreies Ergebnis gemacht werden kann, wenn der Pilz mit jedem kleinsten Teilchen des dargebotenen Nährmediums möglichst innig

[1]) Diese Anordnung hat sich gut bewährt und ist sicher der Verwendung der in den chemischen Fabriken hergestellten reinen Cellulose vorzuziehen. Es liegt dies wohl hauptsächlich daran, daß sie dem Pilze eine außerordentlich große Angriffsfläche bietet.

[2]) a. a. O. S. 514.

und gleichmäßig in Berührung kommen kann. Dies wurde am besten erreicht bei Tränkung von Filtrierpapier mit dem flüssigen Nährmittel, da das Papier die Flüssigkeit aufsaugt und dem Pilz in allen Teilen reichlich Gelegenheit zur Entwicklung von Luftmycel bietet. Wenn auch in der Cellulose eine zweite Kohlenstoffquelle gegeben wurde, so konnte dies doch unbedenklich geschehen, da einer Nutzbarmachung derselben immer erst eine Lösung — und zwar wahrscheinlich eine Bildung von Zucker — vorangehen muß.

Die auf diesem Boden hergerichtete Kultur zeigte von Anfang an ein sehr intensives Wachstum, so daß schon nach etwa 10 Tagen der ganze Kolben mit Luftmycel erfüllt war, an dem unzählige Mikrokonidien abgeschnürt wurden. Nach 50 Tagen war das Mycel nahezu abgestorben; es war dabei in dünne bräunliche Häute zusammengefallen, und nur hier und dort zeigten sich noch kleine frische Räschen, deren Tätigkeit aber keine große Bedeutung mehr haben konnte. Die zurückbleibende Masse von Papier und Mycel ließ sich nach Zusatz von Wasser mit einem Glasstabe ziemlich gleichmäßig zu einem Brei verrühren. Der mit einem Liter destillierten Wassers ausgelaugte Rückstand verhielt sich neutral, das Filtrat war gelblich und stark trübe. Die Trübung war durch die Mikrokonidien, die durch das Filter mit hindurchgegangen waren, entstanden. Wie groß der Gehalt an Mikrokonidien war, ging daraus hervor, daß nach mehrtägigem Aufenthalt des Filtrats im Kälteschrank bei $+1$ bis 2° sich eine ziemlich dicke Schicht von Mikrokonidien absetzte.

Da die Möglichkeit vorlag, daß auch gelöstes Eiweiß vorhanden war, wurden zu 500 ccm des frischen klaren Filtrats 20 ccm basischen Bleiacetats hinzugefügt, worauf sich dichte Wolken bildeten. Die nunmehr nochmals filtrierte Lösung wurde polarisiert, wobei sich keine ablesbare Drehung ergab. Da aber die Möglichkeit der gleichzeitigen Anwesenheit von rechts und links drehendem Zucker nicht als vollkommen ausgeschlossen betrachtet werden durfte, so wurde die Flüssigkeit noch invertiert und dann mit Fehlingscher Lösung titriert. Zur Reduktion des in 10 ccm dieser Lösung enthaltenen Kupfers wurden 250 ccm der Lösung verbraucht, was einem Zuckergehalt von etwa 0,02 % entspricht. Wegen der geringen Menge vorhandenen Zuckers wurde von der an sich ja genaueren Allihnschen Probe abgesehen. Die gefundenen Spuren von Zucker können ebensogut als minimale Reste des dargebotenen Rohrzuckers, als auch als Oxydationsprodukte aus der Cellulose betrachtet werden. Diese geringen Reste lassen das Endresultat nicht zweifelhaft erscheinen: es muß als festgestellt gelten, daß Rohrzucker von Fusarium vasinfectum var. Pisi in hohem Maße benutzt wird.

Dieselbe Kultur wurde noch benutzt, um zu prüfen, ob der Pilz ein lebende Zellen angreifendes Enzym bildet oder nicht. Zu diesem Zwecke wurden Papierkonglomerate ausgesucht, auf denen noch lebende Pilzrasen wucherten und unter Druck ausgepreßt. Zu einem Parallelversuch wurde vom Pilz durchsetztes Filtrierpapier mit reinem Quarzsand verrieben, die feuchte Masse auf ein Filter gebracht und die Lösung durch Überschichten mit destilliertem Wasser aus dem Sande verdrängt.

Brachte man auf einem Objektträger in einige Tropfen dieser Flüssigkeit einzelne

freie Zellen aus dem Fruchtfleische von Symphoricarpus racemosus, so kollabierte ihr Plasmaleib in kurzer Zeit. In dem nur durch Abpressen gewonnenen Safte dauerte es ungefähr 15 Minuten, bis die Wirkung sichtbar wurde, bei dem durch Wasserverdrängung hergestellten genügten dazu schon 6—8 Minuten. Brachte man die so behandelten Zellen dann wieder in reines Wasser, so ging die Plasmolyse nicht zurück, sondern dauerte an.

Der gleiche Versuch wurde hierauf noch an im Gewebsverbande befindlichen Zellen gemacht; als Objekt hierzu wurden Epidermisstückchen ganz junger Zwiebelschuppen von Allium Cepa gewählt. Der Versuch zeigte denselben Erfolg, der allerdings erst nach mehreren Stunden eintrat, nämlich an allen Zellen deutliche Plasmolyse. Auch hier war die Schädigung dauernd und ging in reinem Wasser nicht zurück. Daß es sich hier nicht um die Wirkung einer Salzlösung handelte, konnte dadurch bewiesen werden, daß die Flüssigkeit ihre plasmolysierende Kraft durch Erwärmen auf 80° verlor.

Dadurch ist festgestellt, daß wir es mit einem Fusarium zu tun haben, das in Form eines Enzyms ein Plasmagift ausscheidet und dadurch geeignet ist, als gefährlicher Parasit aufzutreten.

Da nach diesen vorliegenden Kulturen und dem Befund in der Wirtspflanze unser Fusarium mit dem von van Hall als Erreger der St. Johanniskrankheit der Erbsen geschilderten übereinstimmt, soweit eben nach den Angaben dieses Autors eine Identifizierung möglich ist, so möchte ich den von van Hall vorgeschlagenen Namen Fusarium vasinfectum Atk. var. Pisi van Hall beibehalten, überlasse es vorläufig weiteren schon in Angriff genommenen Untersuchungen, genauer zu entscheiden, inwieweit die verschiedenen in den Gefäßbündeln von Kulturpflanzen wuchernden Fusarien eine einheitliche Art darstellen oder verschiedener Zugehörigkeit sind. Insbesondere ist dabei zu untersuchen, inwieweit man es mit an bestimmte Wirtspflanzen angepaßte Gewohnheitsrassen desselben Pilzes zu tun hat.

B. Fusarium-Welkekrankheiten anderer Leguminosen.

Der auffallend starke Befall der Erbsen und das vielfache Auftreten von Fusarium auch an anderen Kulturpflanzen legte mir nahe, vor allem auf weitere Verbreitung der Fusarien zu achten und besonders das Augenmerk auf die Leguminosen zu richten. Eine günstige Gelegenheit bot sich mir insofern, als auf dem Versuchsfeld in Dahlem eine große Anzahl von Leguminosen zur Untersuchung der Wurzelknöllchen angepflanzt sind.

Es fielen mir Lupinen auf, die auf dem Felde frühzeitig welkten und ihre Teilblättchen abwarfen, so daß sie dann mit den verbleibenden Blattstielen besenartig kahl dastanden (siehe Abb. 1). Diese Erscheinung machte sich sowohl bei jüngeren Pflanzen kurz vor der Blüte, als bei älteren, die schon Hülsen angesetzt hatten, bemerkbar. Auch hier ging die Krankheit vom Wurzelhals und den unteren Stengelteilen aus. Diese Stellen sind bei der Lupine noch stärker rissig als bei der Erbse und ebenfalls gebräunt. Schneidet man einen solchen kranken Stengel der Länge

Abb. 1.

Lupinus angustifolius von Fusarium befallen.

Die Abbildung links zeigt die rissige Eingangspforte des Pilzes am Wurzelhals. Die Blätter sind größtenteils welk. Viele Blattstiele haben schon die Teilblättchen abgeworfen.

Die Abbildung rechts bringt eine in späterem Stadium befallene Pflanze zur Ansicht. Die stehengebliebenen Blattstiele verleihen der Pflanze ein besenartiges Aussehen. Nur einzelne Hülsen sind normal abgereift.

nach auf, so treten die Gefäßbündel als deutlich braun gefärbte Stränge hervor, und mikroskopische Schnitte zeigen, daß die Gefäße der Lupine noch stärker von Mycel durchwuchert werden, als die der Erbse. Auch hier wurde innerhalb des Gewebes keinerlei Konidienfruktifikation gefunden, dagegen fanden sich überaus zahlreiche Chlamydosporen, die perlschnurähnlich am Mycel abgeschnürt, das Rindenparenchym in ganzen Ketten durchzogen.

Nach Mitteilung des Herrn Regierungsrat Appel wurde die Krankheit seit 2 Jahren auf dem Versuchsfeld beobachtet und zwar an Lupinus angustifolius, perennis und mutabilis. Während sie aber im Jahre 1904 nur vereinzelt auftrat waren die Lupinen im folgenden Jahre zu einem großen Prozentsatz befallen. Außerdem wurde die Krankheit aus Pommern bekannt, und zwar ebenfalls an Lup. angustifolius. Der an beiden Orten gleichzeitig gebaute Lup. luteus war von der Krankheit völlig frei. Es darf wohl angenommen werden, daß die Erkrankung weiter verbreitet ist, und es wäre wünschenswert, wenn bei Beobachtung derselben das Verhalten der einzelnen Lupinenarten berücksichtigt würde.

Um die Morphologie dieses Pilzes zu studieren, wurden wieder auf Gelatine-Platten Reinkulturen angelegt. Als Ausgangspunkt dienten Mikrokonidien, die auf dem Wirt abgeschnürt waren. Bald erhob sich gleichmäßig vom Substrat ein rein weißes ziemlich dichtes Luftmycel, das von sehr dicken, 6—8 μ Durchmesser besitzenden Hyphen gebildet wurde und das keine bemerkbaren Zonen differenten Wachstums aufwies. Schon nach wenigen Tagen enthielten die Mycelfäden viele Öltröpfchen, die sich auch in den Mikrokonidien fanden. Diese waren einzellig, etwa 12—14 μ lang und 5—6 μ dick. Sie wurden in großer Anzahl von dem reich verzweigten Mycel abgeschnürt. Weniger häufig wurden Makrokonidien und Chlamydosporen gebildet. Die Makrokonidien maßen in der Länge etwa 35—45 μ und waren 4—6 μ dick, sie waren 3—5 zellig, ziemlich stark sichelförmig gebogen und in der Mitte der Zellen erheblich angeschwollen. Die terminal und intercalar gebildeten Chlamydosporen hatten einen Durchmesser von 6—12 μ und blieben an Größe hinter den in der Wirtspflanze entwickelten zurück, die bis nahezu 15 μ im Durchmesser besaßen. Auch in bezug auf Dicke und Färbung der Membran waren diese Sporen hinter den auf natürlichen Substrat entwickelten zurückgeblieben. Bei diesem Fusarium gelang es, auf kulturellem Wege Sklerotien zu erhalten. Sie traten in Kulturen auf, die ebenso angelegt waren, wie bei dem Versuch zur Bestimmung des Rohrzuckerverbrauchs durch das Erbsen-Fusarium. In etwa 8—10 Wochen alten Kulturen traten harte, dunkelbraunrot gefärbte feste Pilzkörper auf, die etwa die Größe und Gestalt einer halben Erbse hatten. Sie saßen auf dem zur Kultur benutzten Fließpapier fest, waren aber von diesem wie von dem umgebenden Pilzgeflecht leicht zu isolieren. Die mikroskopische Untersuchung eines Querschnitts ergab die Zusammensetzung des Sklerotiums aus einem dichten, besonders nach der Peripherie zu stark plectenchymatisch ausgebildeten Mycelgeflecht. Nur diese äußersten Schichten des Sklerotiums enthielten das rotbraune Pigment.

Die Sklerotien wurden zur Überwinterung ausgelegt und es wird im Frühjahr darauf zu achten sein, in welcher Weise die Dauerform des Pilzes aus ihrem latenten

Leben zurückkehrt. Wenn dieser Übergang aus dem Ruhezustand zu erneuter Betätigung des Parasitismus in diesem Falle bis zum Abschluß der Arbeit auch noch nicht beobachtet ist, so ist doch an der Sklerotiumnatur der in Rede stehenden Gebilde nicht zu zweifeln, und man hat in ihnen eine Überwinterungsform zu sehen, die einer umfangreichen Verbreitung des Pilzes im Frühjahr überaus günstig ist.

Abb. 2.
Fusarium-kranke Vicia Faba.
Die Krankheit ist durch künstliche Infektion hervorgerufen und hat zum Auftreten schwarzer Streifen am Stengel und schließlichen Welken der ganzen Pflanze geführt.

Perithecien wurden bislang nicht gefunden.

Bei dem derzeitigen Stand der systematischen Kenntnis über die Gattung Fusarium ist es nicht möglich, die Arten so weit auseinanderzuhalten, daß man nach morphologischen Untersuchungen allein Identifizierungen vornehmen kann. Vielmehr ist es sowohl bei den jetzt hier zu erwähnenden als auch bei anderen Fusarien durchaus nötig, auch biologische Eigenschaften zur Charakterisierung der einzelnen Spezies heranzuziehen. Eine derartige biologisch-systematische Untersuchung erstreckt sich aber am besten gleich über eine größere Anzahl von Arten, um so durch Vergleichung der einzelnen auf diejenigen Faktoren zu kommen, die bei der Unterscheidung der Arten den Ausschlag geben und für ein Wiedererkennen unumgänglich notwendig sind. Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, gehe ich hier nicht auf eine spezialisierte Beschreibung der biologischen Eigenschaften der verschiedenen an Leguminosen gefundenen Fusarien ein, sondern behalte mir dies gemeinsam mit Herrn Regierungsrat Appel für eine einheitliche Darstellung krankheitserregender Fusarien vor, zu der bereits ein größeres Material vorliegt. Deswegen beschränke ich mich an dieser Stelle bei der Beschreibung der anderen Leguminosen-Fusarien auf eine allgemeine Charakterisierung, wie sie sich aus dem Krankheitsbilde und den morphologischen Eigen-

schaften des Pilzes ergibt. Bei der Beschreibung des Pisum-Pilzes machte ich eine Ausnahme, da bei der großen Verbreitung der Krankheit es mir wünschenswert erschien, die Tatsachen festzustellen, die bei der Ausbreitung der Krankheit in erster Linie in Betracht kommen, um so für die Bekämpfung einige Anhaltspunkte geben zu können.

Als weitere vom Fusarium stark beschädigte Leguminose ist Vicia Faba anzuführen (Abb. 2). Auch hier ist der Krankheitstypus derselbe, aber die äußere Erscheinung weicht entsprechend dem robusteren Aufbau dieser Kulturpflanze von dem Bild, das die kranken Erbsenpflanzen zeigten, ab. Ebenso wie bei der Lupine bleiben die Stengel auch in den späteren Phasen der Krankheit stehen und sinken nicht wie die der Erbsen um. Ebenso wie bei den bisher beschriebenen Wirtspflanzen wird auch hier die Eingangspforte für den Pilz durch den Wurzelhals gebildet, der, einmal angegriffen, ein rissig schorfiges Aussehen annimmt und sich durch eine dunkelbraune bis schwarze Färbung auszeichnet. Außerdem zeigen sich auch am Stengel entlang häufig schwarze Streifen, die besonders, wenn sie am unteren Teile des Stengels auftreten, an das Krankheitsbild erinnern, wie es für Bacillus phytophthorus an Vicia Faba beschrieben ist.[1]) Während aber bei der Schwarzbeinigkeit die schwarzen Streifen aus vollständig erweichtem Gewebe bestehen und ziemlich rasch eine Desorganisation des Stengelgrundes eintritt, ist bei der Fusariumkrankheit das Gewebe in seiner Konsistenz unverändert. Außer diesen schwarzen Streifen an den Stengeln treten nicht selten schwarze Flecke an den Blättern und Nebenblättern auf, die eine bestimmte Anordnung und scharfe Umgrenzung nicht erkennen lassen. Die Flecke vergrößern sich dann und verbreiten ihre graphitschwarze Färbung über die ganzen abwelkenden Teile. Wieder sind es auch in diesem Falle die jüngsten Blätter, die zuerst welken; sie werden schlaff, nehmen aber nicht eine Gelbfärbung an, wie dies bei der Erbse und Lupine der Fall war, sondern überziehen sich allmählich unter Schwinden der grünen Farbe mit dem grauschwarzen Ton.

Diese Fusariumkrankheit ist zweifellos die verbreitetste Pilzkrankheit dieser Kulturpflanze. Sie ist mir bekannt geworden aus Pommern, Schlesien, Schleswig-Holstein, Brandenburg, Sachsen und aus der Rheinprovinz. In einzelnen dieser Gebiete erstreckte sich ihr Auftreten über viele Gemarkungen. Es ist kaum daran zu zweifeln, daß die Krankheit noch viel weiter verbreitet und nur übersehen ist. Auffallend ist es daher, daß die Praxis auf diese Schädigung noch nicht mehr hingewiesen hat; es ist dies zweierlei Ursachen zuzuschreiben. Erstens kommt es sehr häufig vor, daß dieselben Felder gleichzeitig von Läusen (Aphis papaveris) heimgesucht werden, ferner aber kommt es durch den langsamen Verlauf der Krankheit noch zu einem Reifen der Samen, so daß die Schädigung einigermaßen verdeckt wird. Wenn aber auch die älteren Hülsen noch vollreife Samen ausbilden, so werden die der jüngeren häufig nur notreif, häufig genug aber wird ein Teil der Samen über-

---

[1]) Appel, Untersuchungen über die Schwarzbeinigkeit und die durch Bakterien hervorgerufene Knollenfäule der Kartoffel. Arbeiten aus der Biologischen Abteilung für Land- und Forstwirtschaft am Kaiserl. Gesundheitsamte. Bd. III. 1903. S. 403.

haupt nicht entwickelt. Das Ansetzen der Hülsen und Aufrechtstehenbleiben der Pflanzen bis zum Ende der Vegetation täuschen häufig einen gesunden Stand und normales Absterben der Pflanzen vor und der Ausfall wird den Witterungs- und Bodenverhältnissen zugeschrieben, während er in Wirklichkeit auf die Tätigkeit des Fusariums zurückzuführen ist.

Morphologie des Vicia Faba-Fusariums.

Auf Gelatineplatten entwickelte der Pilz nach 20 Stunden, mit dem bloßen Auge bemerkbar, rein weißes Luftmycel, das dort, wo es dem Substrat anlag, einen schwach gelben Ton annahm und sich sonst ziemlich gleichmäßig auch am äußersten Rande etwa 5—6 mm vom Medium erhob. Zonen waren nicht wahrzunehmen. Die Hyphen sind stark verzweigt und führen fein granuliertes Plasma, das im Alter vakuolenreich wird. Auch hier werden Mikrokonidien in überwiegender Mehrzahl abgeschnürt, dagegen sehr wenig Makrokonidien. Diese treten auch gegen Ende der Kultur, also nach Erschöpfung der Nährstoffe, verhältnismäßig selten auf, wohl aber werden dann Chlamydosporen reichlicher abgeschnürt. Mikrokonidien finden sich über die ganze Kultur verbreitet vor, ausgenommen ist nur der schmale Rand allerjüngsten Mycels. Wo sie entstehen, können sie ebenso gut in das Substrat hinein abgeschnürt werden, als auch an längeren Konidienträgern in die Luft ragen. Sie sind oval und durchschnittlich 5,1 —10,5 μ lang und 3—5 μ dick. Die Makrokonidien sind ausgeprägt sichelförmig gestaltet, in der Mitte der 4—6 Zellen verschieden stark aufgetrieben und messen 40—63,5 μ in der Länge und 3,5 —6 μ in der Breite. Chlamydosporen finden sich ziemlich viel, wie auch schon im Rindenparenchym der Wirtspflanze das reichliche Vorhandensein dieser Fruchtform konstatiert war. Sie hatten ebenfalls dicke Membranen und maßen etwa 10—13 μ im Durchmesser. Nach Sklerotien und Perithecien wurde auch bei Kultur auf anderen Medien bislang vergeblich gesucht.

Das Auftreten der Fusariumerkrankung bei diesen drei wichtigen Leguminosen legte es nahe, auch bei anderen Leguminosen nach ähnlichen Erscheinungen Umschau zu halten. Als verdächtig mußten alle Pflanzen gelten, die während des Sommers in auffälliger Weise abwelkten. Auf diese Weise gelang es, den Nachweis zu führen, daß Fusarium sich bei folgenden Hülsenfrüchten als Krankheitserreger findet:

Soja chinensis. Annähernd die Hälfte eines Beetes Sojabohnen blieb im Wachstum etwas zurück und zeigten frühzeitig eine gelbe Färbung unter gleichzeitigen Abwelkungserscheinungen. Die Hülsenausbildung blieb merkwürdig zurück.

Trifolium repens und Onobrychis sativus. Einzelne Pflanzen welkten, noch ehe sie zur Blüte kamen und vertrockneten dann sehr bald.

Ornithopus sativus. Während der Blüte zeigten sich auf einem Beet einzelne größere Flecke, auf denen die Pflanzen abwelkten und, ohne Früchte anzusetzen, eingingen.

Lathyrus sativus und Vicia cracca. Die erkrankten Pflanzen zeigten genau das Bild der Erbsen. Während oder kurz nach der Blüte welkten die Pflanzen von der Spitze her und starben ab.

Auch bei allen diesen Leguminosen war deutlich zu erkennen, daß der Wurzelhals rissig war und die Eingangspforte für einen Pilz gebildet hatte. Die Gefäßbündel waren gebräunt und von Mycel durchzogen, das sich bei näherer Untersuchung als zu Fusarium gehörig erwies.

So weisen also bezüglich des Auftretens in den Wirtspflanzen diese Pilze große Ähnlichkeit miteinander auf, in allen Phasen ihres parasitischen Lebens zeigen sie große Übereinstimmung; besonders gilt dies von dem Pisum-, Lupinus- und Faba-Fusarium. Vergleichen wir aber die morphologischen Charaktere auch nur dieser drei letztgenannten Parasiten, so können wir uns nicht verhehlen, daß Unterschiede zwischen ihnen bestehen. Diese begegnen uns am auffallendsten bei den Größenmaßen der einzelnen Sporenformen. So sind die Konidien des Pisum-Fusariums weit größer als die der anderen. Auch die Größe der Chlamydosporen wird von den anderen Fusarien nicht erreicht. Dann aber trennt auch Wachstumsart und die lebhaftere Färbung des Mycels das Fusarium vasinfectum var. Pisi von dem Lupinus- und Faba-Fusarium. Diese schärfere Ausprägung einiger Merkmale ermöglichte es ja auch, unsern Pisum-Pilz mit dem von van Hall gefundenen zu identifizieren. Leider bieten sich aber zwischen dem Lupinus- und Vicia Faba-Fusarium nicht solche Unterschiede. Es erhebt sich aber überhaupt die Frage, sind die erwähnten differenten Merkmale so wesentlich, daß man nicht doch die verschiedenen von den Leguminosen gezüchteten Fusarien als miteinander identisch auffassen muß, d. h. gibt es eine einzige Fusariumart, die bei den verschiedensten Leguminosen eine Erkrankung der Gefäße hervorrufen kann? Nach dem äußeren Bilde könnte man dies sehr wohl annehmen, denn in allen untersuchten Fällen ließ sich die gleiche Eintrittspforte für den Pilz erkennen, und auch die Ausbreitung in den Gefäßen sowie dem angrenzenden Parenchym war eine gleichartige. Die Kultur zeigte aber, daß es sich um verschiedene Formen handelt; und daraus folgt die weitere Frage: Können sich diese einzelnen Formen vertreten oder sind sie als Varietäten aufzufassen, die an einzelne Nährpflanzen ausschließlich angepaßt sind? Eine bejahende Antwort auf diese letzte Frage scheinen die Autoren Erw. F. Smith und van Hall in ihren mehrfach erwähnten Arbeiten zu geben, da sie die von ihnen beobachteten Formen als Varietäten zu Fusarium vasinfectum stellen und das Vorkommen der Varietäten an bestimmten Nährpflanzen angeben.

Um diese Frage zu beleuchten, wurden einige vorbereitende Versuche angestellt. bei denen Pisum sativum, Lupinus angustifolius, Vicia Faba und Lathyrus sativus in Wasserkultur gezogen und mit verschiedenen Fusarium-Stämmen geimpft wurden. Die dabei verwendeten Fusarien stammen aber nicht nur von den erwähnten Wirtspflanzen, sondern es wurden auch solche von anderen Leguminosen benutzt.

Die Wasserkulturen wurden in der oben bei den Pisum-Impfungen beschriebenen Weise angesetzt. Ebenso wie dort erfolgte auch die Impfung sowohl durch Übertragen von Konidien enthaltendem Mycel, als auch durch Bestreichen von Wundstellen in der Rinde mit einer Aufschwemmung von Mikro- und Makrokonidien. Die Keimung der Konidien wurde durch das sich an einigen Pflanzen an der Wundstelle reichlich entwickelnde Luftmycel kenntlich gemacht, ein Eindringen des

Pilzes in die Pflanzen war aber nur an einem geringen Prozentsatz der Kulturen zu beobachten. Nur je zwei Pisum- und Faba-Pflanzen zeigten auffallende Welkungserscheinungen und beherbergten, wie eine mikroskopische Untersuchung zeigte, bis in eine Entfernung von 5 cm von der Impfstelle aufwärts Fusariummycel. Von diesen erkrankten Pflanzen war das eine Pisum mit einem von Trifolium und das andere mit einem von Pisum isolierten Fusarium, die Vicia Faba-Pflanzen mit einem Lupinus- und Trifolium-Fusarium infiziert worden. Diese geringen Vorversuche scheinen also für eine Vertretbarkeit der einzelnen Fusarien zu sprechen; ich möchte aber ausdrücklich bemerken, daß ich vorläufig weit davon entfernt bin, hieraus allgemeine Schlüsse auf die Leguminosenfusarien zu ziehen. Ich kann dies umso weniger tun, da nur so wenig Infizierungen gelungen sind und überhaupt die Wasserkulturen sich nicht in optima forma befanden. Auch die nicht infizierten Pflanzen machten einen kränkelnden Eindruck, vor allem war ein großer Teil von ihnen etioliert; sie litten in den Vegetationshäusern, in denen sie aufgestellt waren, bei der schon vorgerückten Jahreszeit — die Kulturen waren Ende Oktober angesetzt worden — ziemlich unter Lichtmangel. Unter der Etiolementswirkung werden nun die mechanischen Elemente nur schwach ausgebildet und so sanken auch die nicht infizierten Pflanzen teilweise um, wie es die fusariumkranken normaler Weise tun. So bildeten die von der Welkekrankheit befallenen Pflanzen in der Kultur bei weitem nicht einen so scharfen Gegensatz zu den nicht infizierten, wie dies im Sommer beim natürlichen Vorkommen in der freien Natur der Fall war. Daß die Pflanzen nur zu einem so geringen Prozentsatz infiziert wurden, liegt aber zweifellos an den niederen, vom Keimungsoptimum weit entfernten Temperaturen, die eine ausreichende Keimung der Konidien und kräftiges Weiterwachsen des Mycels verhinderten.

Aus diesen Gründen werden die Infektionsversuche in diesem Frühjahr wieder aufgenommen werden, und zwar in erweiterter Form, indem auch noch von anderen Pflanzen isolierte Fusarien mit herangezogen werden sollen, um die theoretisch wie praktisch wichtige Frage nach der Vertretbarkeit der Fusarien eingehender zu beleuchten.

Fusarium auf Hülsen und Samen.

Außer den eben beschriebenen Erkrankungen, die ausnahmslos vom Wurzelhals ausgingen und im wesentlichen auf einer Schädigung der ganzen Pflanze durch den in den Gefäßen wuchernden Pilz beruhten, war im vergangenen Sommer eine Hülsenerkrankung bei Lupinus angustifolius häufig, die ebenfalls durch Fusarium hervorgerufen wurde (Abb. 3). Da sehr viele in dieser Weise erkrankte Pflanzen auch vom Fuß her erkrankt waren, und in ihnen sich Mycel bis in die oberen Teile der Pflanzen nachweisen ließ, erschien es vielfach nicht ausgeschlossen, daß die Erkrankung der Hülsen in Zusammenhang mit der Fußerkrankung stand. In mehreren Fällen war aber sicher die lokale Natur der Hülseninfektion nachzuweisen, denn die Hülsenstiele wie auch die übrigen basalwärts gelegenen Teile der Wirtspflanze waren frei von Mycel. Das Bild, das solche Hülsen darboten, war folgendes: es entstanden

zunächst auf der Außenseite der Hülse auf den Erhöhungen über den Samen braune Flecke, die sich rasch vergrößerten. Ziemlich bald brachen dann aus ihnen Luftmycel und zahlreiche Makrokonidien als orangerote, etwas klebrige Polster hervor (Abb. 3). In einzelnen Fällen gingen die ganzen Hülsen dabei unter Fäulnis zu Grunde, in anderen Fällen trockneten sie ein und die erkrankten Stellen bildeten auf der gelbbraunen Hülse dunkelbraune Flecke, auf denen sich noch hier und dort Reste der Makrokonidienhäufchen nachweisen ließen. Das Mycel durchwucherte nicht nur das Gewebe der Hülsen, sondern drang in das Innere derselben ein und entwickelte dort reichlich Luftmycel, das die Samen mehr oder weniger dicht überspann. In einzelnen Fällen konnte auch ein Eindringen des Mycels in die Samen selbst und eine beginnende Fäulnis derselben beobachtet werden. Daß aber der Pilz weit häufiger noch in kaum bemerkbarer Weise in die Samen eindringt, geht daraus hervor, daß die als gesund geernteten Lupinensamen beim Auslegen in der feuchten

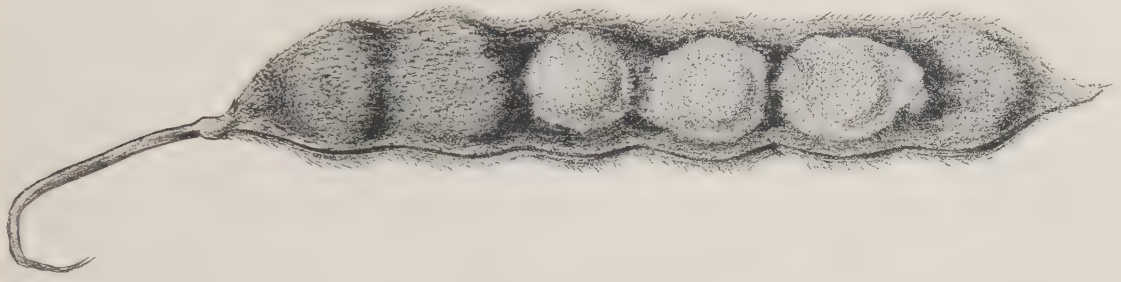

Abb. 3.
Lokale Hülsenerkrankung bei Lupinus angustifolius, hervorgerufen durch Fusarium roseum Lk. var. Lupini. n. f. (N. d. Nat. gez.)
Auf der Frucht befinden sich drei Mycelpolster, die in ihrer Mitte orangerote Makrokonidienlager entwickelt haben. Der Pilz durchwuchert das Gewebe der Hülse und überzieht auch die Samen.

Kammer sich in kürzester Zeit mit Makrokonidien des Pilzes bedecken. Nicht zu verwechseln ist diese Erscheinung mit der in diesem Jahre besonders auf Erbsen, aber auch Bohnen und Lupinen ebenfalls aufgetretenen Bakterienerkrankung der Hülsen.[1]) Die Anfangsstadien beider Krankheitsbilder sind sich sehr ähnlich, nur erweicht das Gewebe bei der Bakterienkrankheit stärker, andererseits geht die Bakterienkrankheit aber nicht oder höchstens ganz selten auf die Samen über, sondern beschränkt sich auf das parenchymatische Gewebe der Hülse. Kombinationen beider Krankheiten kamen nur selten zur Beobachtung und auch nur in den späteren Stadien, in denen der gänzliche Zerfall der fusariumkranken Hülsen durch Bakterien hervorgerufen wurde.

Morphologie des Lupinen-Hülsen-Fusariums.

Es war sehr leicht, von den zahlreichen außen an der Hülse abgeschnürten Makrokonidien eine Reinkultur zu gewinnen. Von den auf Kartoffelsaft-Gelatine geimpften Konidien waren die meisten nach etwa 7 Stunden gekeimt. Nach 24 Stunden

[1]) Vergl. E. v. Oven, Eine neue Bakterienerkrankung der Leguminosenfrüchte. Zentralbl. f. Bakt., Parasitenk. u. Infektionskrankheiten. II. Abt. Bd. XVI. No. 1/3. S. 67.

war das entwickelte Luftmycel bereits mit bloßem Auge zu bemerken. Die Kultur wuchs schneller als die bisher erwähnten heran. Nach 7 Tagen hatte sie einen Durchmesser von 5,5—6 cm. Das Luftmycel war sehr locker und erhob sich sehr hoch vom Substrat, hatte in der Mitte einen höher stehenden Tuff und einen ebenfalls höher vom Substrat abstehenden Rand. Die mittlere Zone dazwischen lag dem Medium mehr an und erhob sich nur etwa 4—5 μ von ihm. Die Farbe des Luftmycels war rein weiß mit einem ganz schwachen rosafarbenen Anflug. Von der Unterseite aber bot diese Kultur eine etwas kompliziertere Farbenerscheinung. An einer 4 Tage alten Kultur war die Mitte dunkel schwefelgelb bis goldgelb gefärbt und nur der äußerste Rand des Mycels rein weiß. Nach $5\,^1/_2$ Tagen trat auf diesem Medium in der Mitte des gelben Feldes eine sich vergrößernde weinrot gefärbte Stelle auf, die allmählich dunkel purpurn wurde. Nach 8 Tagen hatte der rote Fleck gewöhnlich einen Durchmesser von 2 cm; um ihn blieb in einer Breite von 0,7 cm der gelbe und um diesen der nur 0,3 cm breite weiße Rand stehen. Mit dem Alter vergrößerte sich das rote Mittelfeld und schob den gelben Rand, der ziemlich konstant seine Breite bewahrte, vor sich her. Von oben sichtbare Zonen wies das Mycel nicht auf. Die Hyphen selbst sind verschieden dick und führen in der Jugend stark granuliertes Plasma. Mikro- und Makrokonidien wurden hier in etwa gleichen Mengen gefunden. Die Mikrokonidien wurden sowohl in der Mitte, als auch dem Rande genähert und im Substrat wie auch am Luftmycel abgeschnürt aufgefunden. Die länglich ovalen Mikrokonidien sind 5—9 μ lang und nur 2—3 μ dick. Die sichelförmigen Makrokonidien sind 4 bis 6 mal septiert und werden 45,7—58,0 μ lang und 3,5—4,2 μ breit. Sie wurden zuweilen so reichlich gebildet, daß in der Mitte der Gelatinekultur sich eben solche klebrigen, orangefarbenen Polster bildeten, wie ich sie auf den Hülsen angetroffen hatte. Chlamydosporen entwickelt dieser Pilz sehr wenig, nur geringe und vereinzelte Ansätze dazu wurden auf dem erwähnten Substrat bemerkt. Sklerotien und Perithecien konnten für dieses Fusarium bisher nicht nachgewiesen werden. Dieses Fusarium ist also nicht mit dem die Welkekrankheit hervorrufenden zu identifizieren. Schon die Farbstoffbildung des Hülsenfusariums trennt es scharf von dem andern und ebenso das Auftreten der klebrigen orange gefärbten Makrokonidienpolster.

Saccardo[1]) hat nun von der von Link[2]) aufgestellten Spezies Fusarium roseum eine Varität auf den Hülsen von Lupinus albus beschrieben, deren Diagnose auf das eben beschriebene Fusarium paßt. Saccardo nennt die Varietät Fusarium roseum Lk. var. Lupini albi. Da dieses Fusarium aber, wie ich beschrieben habe, nicht auf Lupinus albus beschränkt ist, erlaube ich mir, es Fusarium roseum Lk. var. Lupini zu nennen und die Diagnose von Saccardo mit entsprechender Erweiterung wie folgt zu geben:

---

[1]) Saccardo, Michelia II. S. 295.

[2]) Link, Sp. pl. Fungi II. S. 105. (Species Hyphomycetum et Gymnomycetum in Linnaei Species plantarum cura Wildenowii, Tomus VI. Pars I—II.)

Fusarium roseum Lk. var. Lupini n. f.

Acervulis pulvinatis, minutis, interdum confluentibus, amoene cinnabarinis; basidiis variis longis gracilibus, iterato-ramosis, ramulis nodulosis v. fusoideis, crassis, quandoque ex hyphis repentibus oriundis; conidiis fusoideo-falcatis 45—58 $\mu \times 4$ μ, 4—6 septatis, maculas glutinosas formantibus. — In leguminibus Lupini albi et Lup. angustifolii.

Da, wie erwähnt, außer diesem Fusarium roseum auch das die Welkekrankheit hervorrufende Fusarium auf die Hülsen übergehen kann, schien es mir interessant, Versuche anzustellen, die dartun sollten, wie weit auch andere Fusarium-Arten im Stande sind, die Hülsen zu befallen.

Im Oktober wurden in Blüte und Hülsenansatz sich befindende abgeschnittene Stauden von Lupinus mutabilis in größere Wassergefäße gestellt und im Kalthaus bei etwa 16—18° aufgestellt. Die Impfung geschah in der Art, daß mit einem Haarpinsel Aufschwemmungen von Konidien — meist nur Mikrokonidien — auf Blüten sowohl, wie auch auf junge und alte Hülsen übertragen wurden. Die Konidien waren von Gelatine-Reinkulturen des Pisum-, Lupinus- und Trifolium-Fusarium entnommen, und die Aufschwemmungen so gewonnen, daß aus diesen Kulturen Luftmycel in sterilen Erlenmeyerkölbchen mit destilliertem Wasser ausgeschüttelt wurde. Das genügende Vorhandensein von Pilzsporen zeigte die mikroskopische Untersuchung eines Tropfens der Aufschwemmung.

Bei den Revisionen dieser Kulturen ergab sich, daß an einigen Exemplaren eine Nebeninfektion durch Botrytis eingetreten war, dennoch ließ sich ausreichend deutlich der Erfolg unserer Infizierung konstatieren. Ein großer Teil der Hülsen war in nächster Nähe ihrer Stiele, dann aber waren diese Stiele selbst wie auch die nächsten Stengelteile dicht mit Fusariummycel überzogen, das oft reichlich die lachsfarbenen Lager von Makrokonidien zu Tage brachte. Die ganzen Pflanzen waren stark gebräunt, während ungeimpfte Kontrollkulturen noch ihr grünes lebensfrisches Aussehen gewahrt hatten. Am reichlichsten zeigte sich die Infektion bei den mit dem Pisum- und Lupinus-Fusarium vorgenommenen Impfungen, und gerade für den Erbsenpilz war das Infektionsbild niemals durch die Tätigkeit der Botrytis gestört. An einigen Exemplaren trat an den dicht über dem Wasser befindlichen Stengelteilen noch der Myxomycet Didymium difforme auf, was ich nur der Vollständigkeit wegen konstatiere, da der harmlose Saprophyt natürlich eine Verschiebung des Krankheitsbildes herbeizuführen nicht imstande ist.

So sehen wir, daß die Hülseninfektion nicht nur vom Fusarium roseum var. Lupini hervorgerufen zu werden braucht, sondern daß sich die erwähnten einander nahe stehenden Formen hierbei vertreten können.

Zusammenfassung.

Überblicken wir die geschilderten Einzelheiten, so ergibt sich uns ein deutliches Bild der durch Fusarien hervorgerufenen Welkekrankheiten der Leguminosen, insbesondere der „St. Johanniskrankheit" der Erbsen.

Sehen wir uns um nach dem Ausgangspunkte der Felderkrankung, so können wir wohl mit Recht annehmen, daß der in Frage kommende Erreger mehr oder weniger verbreitet überall vorhanden ist. Er vermag auf den verschiedensten Substraten als Saprophyt zu leben. Ja, man kann sagen, daß seine Anpassung an die saprophytische Lebensweise eine besonders weitgehende ist, hat er doch z. B. in hohem Maße das Vermögen, Cellulose zu zerstören und auf den verschiedensten toten Substraten seine mannigfach gestalteten Fruchtformen zu entwickeln. Bei seiner energischen Zerstörung vegetabilischer Substanz kann er auf und im Erdboden leben, wenn er einmal durch abgefallene kranke Hülsen oder durch stehenbleibende und verwesende Stoppeln erkrankter Pflanzen auf ihn gelangt ist. Von hier aus ist der Weg in die Pflanze, wie eingehend geschildert, gegeben. Mit dem Augenblick, wo es ihm gelingt, durch Wundstellen in Leguminosenpflanzen zu gelangen, beginnt er seine parasitische Lebensweise; mit welchem verderblichen Erfolg ist ebenfalls geschildert. Zwar ist er in seinem Fortkommen sehr von Witterungsverhältnissen abhängig, denn, wie gezeigt, kann er nur bei genügender Wärme und gleichzeitiger ausreichender Feuchtigkeit immer wieder zu Neuinfektionen Anlaß geben. Aber diese Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen sollte in der landwirtschaftlichen Praxis nicht dazu führen, die Krankheit für nebensächlich zu halten; denn wenn wir das Beispiel Hollands, wo die Erbsenkrankheit in den letzten Jahren immer mehr an Ausbreitung gewonnen hat, heranziehen, so müssen wir eine so intensive Anreicherung des Bodens an Fusariumkeimen für möglich halten, daß die Krankheit zu einer stehenden Erscheinung auch bei uns werden kann.

Der falschen Anschauung aber von der bloß saprophytischen Lebensweise aller Fusarien Einhalt zu tun und an einem neuen phytopathologisch wichtigen Beispiel den Parasitismus eines Vertreters der Gattung Fusarium darzulegen, ist der Zweck dieser Arbeit.

Lebenslauf.

Ich, Ernst Gustav Georg Schikorra, evangelischer Konfession, wurde am 7. April 1882 als Sohn des Töpfermeisters Gustav Schikorra und seiner Gattin Hedwig, geb. Lenter, zu Berlin geboren. Daselbst genoß ich den ersten Unterricht auf einer Elementarschule, den weiteren auf dem Königstädtischen Real-Gymnasium, das ich im Herbst 1900 mit dem Zeugnis der Reife verließ. Im folgenden Winter-Semester bezog ich die Universität Berlin, um mich dem Studium der Naturwissenschaften und der Mathematik zu widmen. Am 10. Mai 1906 bestand ich die Promotionsprüfung. Zur Zeit bin ich als wissenschaftlicher Hilfsarbeiter in der Kaiserlichen Biologischen Anstalt für Land- und Forstwirtschaft zu Dahlem bei Berlin beschäftigt.

Auf der Universität hörte ich die Vorlesungen und besuchte die Kurse folgender Herren Professoren und Dozenten: Ascherson, Busse, Dessoir, Dilthey, Engler, Frobenius, Hensel, Knoblauch, Kolkwitz, Landau, Lehmann-Filhés, Lindau, Magnus, Münch, Paulsen, Planck, Pringsheim, Rawitz, Schmidt, Schulze, H. A. Schwarz, Schwendener, Thiele, H. Virchow, Wagner, Wahnschaffe, Warburg, Weinstein, von Wilamowitz-Moellendorff.

Allen diesen Herren möchte ich für die Belehrung und Förderung, welche mir durch ihre Bemühung in reichem Maße zu Teil geworden ist, an dieser Stelle ergebensten Dank sagen. Insbesondere danke ich Herrn Geheimrat Professor Schwendener für die vielfachen Anregungen während meines Studiums.